

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-312052

(P2000-312052A)

(43) 公開日 平成12年11月7日 (2000.11.7)

(51) Int.Cl.

H 0 1 S 5/22  
5/323

識別記号

F I

H 0 1 S 5/22  
5/323

テマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数37 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特開2000-44286(P2000-44286)

(22) 出願日 平成12年2月22日 (2000.2.22)

(31) 優先権主張番号 特開平11-45067

(32) 優先日 平成11年2月23日 (1999.2.23)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005988

三菱化学株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番2号

(72) 発明者 下山 謙司

茨城県牛久市東端六町1000番地 三菱化学  
株式会社筑波事業所内

(72) 発明者 佐藤 義人

茨城県牛久市東端六町1000番地 三菱化学  
株式会社筑波事業所内

(72) 発明者 菊地 敏

茨城県牛久市東端六町1000番地 三菱化学  
株式会社筑波事業所内

(74) 代理人 100095843

弁理士 釜田 淳爾 (外2名)

(54) 【発明の名称】 半導体光デバイス装置

(57) 【要約】

【課題】 低い動作電流を維持しつつ、高出力動作を実現しうるリッジ導波型ストライプレーザ等の半導体光デバイス装置を提供すること。

【解決手段】 基板上に、活性層を含む化合物半導体層、該化合物半導体層上に形成されたストライプ状開口部を有する保護膜、該ストライプ状開口部を覆うように形成された該活性層より屈折率の小さいリッジ型の化合物半導体層を少なくとも有し、該ストライプ状開口部の開口中央部の幅 (Wc) よりも開口前端部の幅 (Wf) が広いことを特徴とする半導体光デバイス装置。

(2)

特開2000-312052

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、活性層を含む化合物半導体層、該化合物半導体層上に形成されたストライプ状開口部を有する保護膜、該ストライプ状開口部を覆うように形成された該活性層より屈折率の小さいリッジ型の化合物半導体層を少なくとも有し、該ストライプ状開口部の開口中央部の幅 ( $W_c$ ) よりも開口前端部の幅 ( $W_f$ ) が広いことを特徴とする半導体光デバイス装置。

【請求項2】  $W_f - W_c \geq 0.2 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1記載の半導体光デバイス装置。

【請求項3】  $W_f - W_c \geq 0.5 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項2記載の半導体光デバイス装置。

【請求項4】  $W_f - W_c \leq 5 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項5】  $W_f - W_c \leq 3 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項4記載の半導体光デバイス装置。

【請求項6】  $W_f - W_c \leq 2 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項5記載の半導体光デバイス装置。

【請求項7】  $W_c \geq 2.2 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項8】  $W_c \leq 50 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項9】 前記ストライプ状開口部の開口中央部の幅 ( $W_c$ ) よりも開口後端部の幅 ( $W_r$ ) が広いことを特徴とする請求項1～8のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項10】  $W_r = W_f$ であることを特徴とする請求項9記載の半導体光デバイス装置。

【請求項11】 前記ストライプ状開口部の幅が、開口中央部から開口前端部へ向かって漸増している部分を有することを特徴とする請求項9または10記載の半導体光デバイス装置。

【請求項12】 前記ストライプ状開口部の幅が、開口中央部から開口後端部へ向かって漸増している部分を有することを特徴とする請求項11記載の半導体光デバイス装置。

【請求項13】 ストライプ状開口部の幅が、開口前端部近傍では概略一定であることを特徴とする請求項9～12のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項14】 ストライプ状開口部の幅が、開口後端部近傍では概略一定であることを特徴とする請求項13記載の半導体光デバイス装置。

【請求項15】  $W_f \geq 2 \mu\text{m}$ 、および、 $W_r \geq 2 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項9～14のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項16】  $W_f \geq 3 \mu\text{m}$ 、および、 $W_r \geq 3 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項15記載の半導体光デバイス装置。

ス装置。

【請求項17】  $W_f \leq 1000 \mu\text{m}$ 、および、 $W_r \leq 1000 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項9～16のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項18】  $W_f \leq 500 \mu\text{m}$ 、および、 $W_r \leq 500 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項17記載の半導体光デバイス装置。

【請求項19】  $W_f / W_c \geq 1.2$ 、および、 $W_r / W_c \geq 1.2$ であることを特徴とする請求項11～18のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項20】  $W_f / W_c \geq 1.5$ 、および、 $W_r / W_c \geq 1.5$ であることを特徴とする請求項19記載の半導体光デバイス装置。

【請求項21】  $W_f / W_c \leq 50$ 、および、 $W_r / W_c \leq 50$ であることを特徴とする請求項11～20のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項22】  $W_f / W_c \leq 10$ 、および、 $W_r / W_c \leq 10$ であることを特徴とする請求項21記載の半導体光デバイス装置。

【請求項23】  $W_r \geq W_c \geq W_f$ であることを特徴とする請求項1～8のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項24】  $W_f - W_r \geq 0.5 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項23記載の半導体光デバイス装置。

【請求項25】  $W_f - W_r \leq 100 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項23または24記載の半導体光デバイス装置。

【請求項26】  $W_f - W_r \leq 50 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項25記載の半導体光デバイス装置。

【請求項27】  $W_f / W_r \geq 1.2$ であることを特徴とする請求項23～26のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項28】  $W_f / W_r \geq 1.5$ であることを特徴とする請求項27記載の半導体光デバイス装置。

【請求項29】  $W_f / W_r \leq 50$ であることを特徴とする請求項23～28のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項30】  $W_r / W_f \leq 10$ であることを特徴とする請求項29記載の半導体光デバイス装置。

【請求項31】 前記リッジ型の化合物半導体層のリッジ頂部および側面には保護膜が形成されていないことを特徴とする請求項1～30のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項32】 前記リッジ型の化合物半導体層のリッジ頂部および側面を覆うようにコンタクト層が形成されていることを特徴とする請求項1～31のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項33】 前記基板の結晶成長面が(100)面又はそれと結晶学的に等価な面であり、前記保護膜のストライプ状開口部の長手方向が[01-1]方向又はそれ

3

と結晶学的に等価な方向であることを特徴とする請求項1～32のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項34】 前記リッジ型化合物半導体層が少なくとも保護膜上の一部に形成されていることを特徴とする請求項1～33のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項35】 半導体発光装置である請求項1～34のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項36】 半導体レーザである請求項1～34のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【請求項37】 半導体光増幅器である請求項1～34のいずれかに記載の半導体光デバイス装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高出力動作が可能な、リッジ導波路型半導体レーザとして好適な構造を有する半導体光デバイス装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体光デバイス装置を簡易に作製する場合に、リッジ導波路型と呼ばれる構造がよく用いられる。図4にその構造の作製方法を示す。まず、最初に基板401上にn型クラッド層402、活性層403、p型クラッド層404及びp型コンタクト層405を成長させる。次に、フォトリソグラフィによるパターニングにより、ストライプ状のレジスト408をウエハー表面に形成し、このレジストをマスクとしてp型クラッド層を所望の厚みだけ残るようにウェットエッチングすることにより、ストライプ状のリッジが形成される。その後、ウエハー全面に絶縁性を有する保護膜409を形成し、フォトリソグラフィによりリッジの頂部の保護膜を除去し、さらにp側電極410及びn側電極411を形成する。このようにしてリッジ構造を形成することにより、レーザ発振において横モードを安定化し、しきい値電流を低減することができる。

【0003】しかしながら、このような従来のリッジ導波路半導体光デバイス装置の製造法では、リッジ部をエッチングにより形成するため、非リッジ部406におけるクラッド層の厚みを精度よく制御することが困難であった。その結果、非リッジ部のクラッド層の厚みのわずかな違いにより、この部分の実効屈折率が大きく変動し、半導体光デバイス装置のレーザ特性が変動し製品歩留まりを向上させることが難しかった。

【0004】このような問題を解決するために、非リッジ部のクラッド層の厚みを結晶成長時の結晶成長速度を用いて決定し、非リッジ部に保護膜を形成して、リッジ部分を再成長する方法が提案されている（特開平5-121822号公報、特開平9-199791号公報、特開平10-326934号公報、特開平10-326935号公報、特開平10-326936号公報、特開平10-326937号公報、特開平10-326938

(3)

特開2000-312052

4

号公報、特開平10-326945号公報等）。このようなレーザの作製方法と構造を図5に示す。リッジ部形成の際、保護膜506をマスクとしてストライプ状開口部507上に選択再成長し、成長速度の面方位に対する異方性により、p型第2クラッド層508およびp型コンタクト層509が台形等の断面形状で順次積層される。この方法によれば、非リッジ部のp型第1クラッド層504の厚みを精密に制御することが可能となり、実効屈折率の制御が容易になる。

10 【0005】しかしながら、この方法により製造される半導体光デバイス装置にも課題がある。例えば、特開平5-121822号公報に記載されているようなリッジ導波路型レーザは、単一の基本横モードを達成するために光導波構造を製作しようとする、リッジ頂部のリッジ幅を1 $\mu$ m程度としなければならず、コンタクト層と電極の接触面積が極めて小さくなるため、コンタクト層と電極との接触抵抗が増大し、またリッジ側壁のクラッド層の表面の酸化により、レーザ特性の劣化や信頼性の低下等を招いていた。その結果、製品歩留まりを向上させることが困難であった。また、特開平9-199791号公報に記載されているようなリッジ導波路型レーザの場合には、リッジの最下部が逆メサ形状となるため、コンタクト層が形成できず、酸化されやすく寿命に悪影響を与えるという問題がある。また、同じくリッジの最下部には、電極が形成しにくくなるため、断線の恐れがあり、歩留まりに悪影響を与えるという問題がある。このため、信頼性が高く製造の歩留まりが良い半導体光デバイス装置を提供することが求められている。

30 【0006】一方、近年ではメディア価格を比較的低くすることが可能になったことから、CD-R（追記型）、CD-R/W（書き換え型）あるいは磁気テープの代替となるミニディスク（MD）などが登場しており、光源を従来のAlGaAs（波長780nm近傍）としつつも高速化に対応するために、光出力を大幅に向上（CWで70～100mW）することが要求されている。従来の技術では、上記の高出力動作でのレーザの劣化（特に端面劣化）を十分に抑制することは困難であり、高出力かつ高信頼性の半導体光デバイス装置を提供することが望まれている。

40 【0007】一方、デジタルビデオディスクを中心とする記録密度向上のために、情報処理用光源として従来のAlGaAs（波長780nm近傍）に代わって、AlGaInP系を用いた可視（通常630～690nm）レーザが実用化され始めている。短波長化、低しきい値、高温動作を達成するために、これまでに以下に述べる検討がなされている。

50 【0008】AlGaInP/GaInP系からなる可視レーザの作製において、（100）面から[011]方向（もしくは[0-1-1]方向）にオフした基板を用いることにより、自然超格子の形成（オーダーリン

(4)

特開2000-312052

5

グ)によるバンドギャップの縮小を抑制し、短波長化しやすくしたり、p型ドーパント(たとえばZn、Be、Mg)の高濃度ドーピングをしやすくし、ヘテロ障壁の増大による素子の発振しきい値電流や温度特性を向上させることが可能になった。ただし、オフ角度が小さいときには、ステップバンチングが顕著に現れ、ヘテロ界面に大きな凹凸が形成されてしまい、量子井戸構造(約10nm以下のGaInP井戸層)を作製したときに、バルク活性層に対する量子効果によるPL波長(あるいは発振波長)の短波長化シフト量が設計値より小さくなってしまふ。オフ角度を大きくすることにより、ステップバンチングを抑制し、ヘテロ界面が平坦となり、設計通りに量子効果による短波長化が可能となる。このように、短波長化の阻害要因となっている自然超格子の形成やステップバンチングの発生を抑制し、かつp型高濃度ドーピングにより短波長化による発振しきい値電流の増加及び温度特性の劣化を抑制するために、通常(100)面から[011]方向(もしくは[0-1-1]方向)に8~16度程度オフした基板が用いられる。ただし、650nm、635nmなどの目的とする波長により、GaInP井戸層の厚みや歪み量を考慮して、適切なオフ角度を選択する必要がある。一方、短波長化のためにオフ角度の大きい基板を用いると、リッジ導波型レーザにおけるリッジ形状の左右非対称性が光強度分布の左右非対称性に影響を与えるという問題がある。

【0009】また近年では、光ファイバー増幅器についても急速な研究開発および実用化が進められており、光通信の分野において大規模な波長多重伝送システムが構築され始めている。一方、半導体光増幅器は、光スイッチ、変調器、レーザなどの他の半導体光デバイスとのモノリシックな集積が可能であること、増幅器の波長帯域が広いなどの利点を有しており、光通信分野への応用に向けた研究開発が活発になされている。さらに、半導体光増幅器のもつ大きな非線形性を積極的に利用した波長変換や光ゲートとしての利用といった新しい応用が検討され始めている。しかし、従来の半導体増幅器には、光ファイバーとの結合、クロストーク、偏波依存性、雑音などに改善の余地があり、これらが実用面での障害となっている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記のようにこれまでに様々な技術が開発されるに至っているが、リッジ導波型の半導体光デバイス装置にはいまだ改善の余地が残されており、改良技術の開発が待たれている。そこで、本発明は上記の従来技術の問題点に対処し、より優れた半導体光デバイス装置を提供することを課題とした。すなわち本発明は、低い動作電流で高出力を達成することができ、信頼性が高く製造の歩留まりがよい半導体発光素子を提供することを解決すべき課題とした。

【0011】

6

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上記の課題を解決すべく鋭意検討した結果、ストライプ状開口部の幅が開口中央部(装置中央部)より開口端部(装置端面)の方が広くなるように設計することにより、信頼性の高い高出力の半導体光デバイス装置を提供することが可能であることを見出した。また、再成長により形成したリッジ部分の頂部及び側面を覆うようにコンタクト層を形成し、コンタクト層と電極との接触面積を増大させることにより、接触抵抗を下げることに、特にAlを含むクラッド層のリッジ側面の表面酸化を防止し、レーザ特性や信頼性を向上させることができることを見出した。さらに、AlGaInP/GaInP系可視レーザのように、短波長化のためにオフ角度の大きい基板を用いた場合にも、上記リッジ導波型レーザにおけるリッジ形状の左右非対称性が、光強度分布の左右非対称性に影響をほとんど受けることがなく、安定な基本横モードが高出力動作まで得られることを見出し、本発明を提供するに至った。

【0012】即ち本発明は、基板上に、活性層を含む化合物半導体層、該化合物半導体層上に形成されたストライプ状開口部を有する保護膜、該ストライプ状開口部を覆うように形成された該活性層より屈折率の小さいリッジ型の化合物半導体層を少なくとも有し、該ストライプ状開口部の開口中央部の幅(Wc)よりも開口前端部の幅(Wf)が広いことを特徴とする半導体光デバイス装置を提供するものである。

【0013】本発明の半導体光デバイス装置の好ましい態様として、 $W_f - W_c \geq 0.2 \mu\text{m}$ である態様； $W_f - W_c \geq 0.5 \mu\text{m}$ である態様； $W_f - W_c \leq 5 \mu\text{m}$ である態様； $W_f - W_c \leq 3 \mu\text{m}$ である態様； $W_f - W_c \leq 2 \mu\text{m}$ である態様； $W_c \geq 2.2 \mu\text{m}$ である態様； $W_c \leq 50 \mu\text{m}$ である態様；前記リッジ型の化合物半導体層のリッジ頂部および側面には保護膜が形成されていない態様；前記リッジ型の化合物半導体層のリッジ頂部および側面を覆うようにコンタクト層が形成されている態様；前記基板の結晶成長面が(100)面又はそれと結晶学的に等価な面であり、前記保護膜のストライプ状開口部の長手方向が[01-1]方向又はそれと結晶学的に等価な方向である態様；前記リッジ型化合物半導体層が少なくとも保護膜上の一部に形成されている態様を挙げることができる。

【0014】本発明の半導体光デバイス装置の具体的態様(第1の態様)として、さらに前記ストライプ状開口部の開口中央部の幅(Wc)よりも開口後端部の幅(Wr)が広いことも特徴とする態様を挙げることができる。第1の態様の好ましい例として、 $W_f = W_r$ である態様；前記ストライプ状開口部の幅が、開口中央部から開口前端部へ向かって漸増している部分を有する態様；前記ストライプ状開口部の幅が、開口中央部から開口後端部へ向かって漸増している部分を有する態様；ストライ

(5)

特開2000-312052

7

ブ状開口部の幅が、開口前部近傍では概略一定である態様；ストライプ状開口部の幅が、開口後部近傍では概略一定である態様； $W_1 \geq 2 \mu\text{m}$ 、および、 $W_2 \geq 2 \mu\text{m}$ である態様； $W_1 \geq 3 \mu\text{m}$ 、および、 $W_2 \geq 3 \mu\text{m}$ である態様； $W_1 \leq 1000 \mu\text{m}$ 、および、 $W_2 \leq 1000 \mu\text{m}$ である態様； $W_1 \leq 500 \mu\text{m}$ 、および、 $W_2 \leq 500 \mu\text{m}$ である態様； $W_1/W_c \geq 1.2$ 、および、 $W_2/W_c \geq 1.2$ である態様； $W_1/W_c \geq 1.5$ 、および、 $W_2/W_c \geq 1.5$ である態様； $W_1/W_c \leq 50$ 、および、 $W_2/W_c \leq 50$ である態様； $W_1/W_c \leq 10$ 、および、 $W_2/W_c \leq 10$ である態様を挙げることができる。

【0015】本発明の半導体光デバイス装置の具体的態様（第2の態様）として、さらに $W_1 \geq W_c \geq W_2$ であることも特徴とする態様を挙げることができる。第2の態様の好ましい例として、 $W_1 - W_2 \geq 0.5 \mu\text{m}$ である態様； $W_1 - W_2 \leq 100 \mu\text{m}$ である態様； $W_1 - W_2 \leq 50 \mu\text{m}$ である態様； $W_1/W_2 \geq 1.2$ である態様； $W_1/W_2 \geq 1.5$ である態様； $W_1/W_2 \leq 50$ である態様； $W_1/W_2 \leq 10$ である態様を挙げることができる。本発明の半導体光デバイス装置は、半導体発光装置、半導体レーザや半導体光増幅器などとして有用である。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明の半導体光デバイス装置について、以下に各層の詳細と製造工程例を示しながら具体的に説明する。本発明の半導体光デバイス装置を作製する際の結晶の成長方法は特に限定されるものではなく、DH構造の結晶成長にはMOCVD法やMBE法等の公知の成長法を用いることができる。本発明の半導体光デバイス装置に使用する基板は、その上にダブルヘテロ構造の結晶を成長することが可能なものであれば、材料の特性や種類については特に限定されない。好ましいのは導電性がある材料であり、望ましくはその上への結晶薄膜成長に適したGaAs、InP、GaP、ZnSe、ZnO、Si、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の結晶基板、特に閃亜鉛鉱型構造を有する結晶基板である。基板結晶成長面は低次の面またはそれと結晶学的に等価な面が好ましく、（100）面が最も好ましい。

【0017】なお、本明細書において「（100）面」という場合は、必ずしも厳密に（100）シャストの面である必要はなく、最大30°程度のオフアングルを有する場合まで包含する。オフアングルの大きさは上限は30°以下が好ましく、16°以下がより好ましく、下限は0.5°以上が好ましく、2°以上がより好ましく、6°以上がさらに好ましく、10°以上が最も好ましい。また、基板は六方晶型の基板でもよく、その場合はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、6H-SiC等の上にも形成される。

【0018】基板上に形成される、活性層を含む化合物半導体層は、通常、活性層の上下に活性層より屈折率の小さい層を含んでおり、そのうち基板側の層は第1導電

8

型クラッド層、他方のエピタキシャル側の層は第2導電型第1クラッド層として機能する。このほか光ガイド層として機能する層を含んでいてもよい。ストライプ状開口部の上に形成される活性層より屈折率の小さい層を含むリッジ型の化合物半導体層は、通常は大部分が第2導電型第2クラッド層からなる。第2導電型第2クラッド層の他には、例えば光ガイド層として機能する層を含んでいてもよい。リッジ頂部および側面の実質的全面は、低抵抗のコンタクト層によって覆われていることが好ましい。

【0019】クラッド層、活性層及びコンタクト層についても特に限定されないが、AlGaAs、AlGaInAs、AlGaInP、GaInAsP、AlGaInN、BeMgZnSe、MgZnSSe、CdZnSeTe等の一般的なIII-V族、II-VI族半導体を用いて、活性層を2層のクラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を作製するのが好ましい。このとき、クラッド層としては活性層より屈折率が小さい材料が選択され、コンタクト層としては通常はバンドギャップがクラッド層よりも小さい材料が選択される。金属電極とのオーミック性を取るための低抵抗で適当なキャリア密度として、下限は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が好ましく、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上がより好ましく、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が最も好ましい。上限は、 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましく、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下がより好ましく、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が最も好ましい。また、活性層は、単一の層からなる場合に限定されず、量子井戸層及び該量子井戸層を上下から挟む光ガイド層からなる単一量子井戸構造（SQW）や複数の量子井戸層及びそれらに挟まれたバリア層ならびに最上の量子井戸層の上及び最下の量子井戸層の下に積層された光ガイド層からなる多量子井戸構造（MQW）であってもよい。

【0020】保護膜についても特に限定されないが、ストライプ状開口部に形成されたリッジ部の下の活性層の領域にのみ電流注入を行えるようにする必要がある。すなわち、ストライプ状開口部両脇の保護膜で電流遮断を行うために、保護膜は絶縁性を有する必要がある。また、活性層では水平方向にリッジ部と非リッジ部の間で実効屈折率差をつけ、レーザ発振の横モードの安定化を図るために、保護膜の屈折率はクラッド層の屈折率よりも小さいことが好ましい。しかし、実用上は、保護膜とクラッド層との屈折率差が大きすぎると活性層内での横方向の有効屈折率段差が大きくなり易いために、リッジ下の第1クラッド層を厚くしなければならなくなり、横方向に漏れ電流が大きくなる傾向がある。一方、保護膜とクラッド層との屈折率差が小さすぎると、保護膜の外側へ光が漏れやすくなるために保護膜をある程度厚くする必要があるが、このことにより劈開性が悪くなる傾向がある。これらを考え併せて、保護膜とクラッド層との屈折率差の下限は0.2以上が好ましく、0.3以上

9

がより好ましく、0.5以上が最も好ましい。上限は3.0以下が好ましく、2.5以下がより好ましく、1.8以下が最も好ましい。また、保護膜の厚みは、絶縁特性を十分に示すことができ、かつ保護膜の外側に光が漏れない程度の厚さがあれば特に問題はない。保護膜の厚みの下限は10nm以上が好ましく、30nm以上がより好ましく、50nm以上が最も好ましい。上限は500nm以下が好ましく、300nm以下がより好ましく、200nm以下が最も好ましい。保護膜の厚みは100~300nmの範囲が推奨される。

【0021】保護膜は、誘電体であることが好ましく、具体的には、 $\text{SiN}_x$ 膜、 $\text{SiO}_2$ 膜、 $\text{SiON}$ 膜、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜、 $\text{ZnO}$ 膜、 $\text{SiC}$ 膜及びアモルファス $\text{Si}$ からなる群から選択されるのが好ましい。保護膜は、マスクとしてMOCVDなどを用いてリッジ部を選択再成長により形成する場合に用いられるとともに、電流狭窄用の保護膜と選択成長用の保護膜は同一組成のものを使用することが好ましいが、必要に応じて組成の異なる層を多層に成膜してもよい。

【0022】閃亜鉛型基板を用い、かつ基板表面が(100)面又はそれと結晶学的に等価な面の場合、リッジ部頂部および側面に後述するコンタクト層を成長しやすくするためには、ストライプ状開口部の長手方向(ストライプの伸びる方向)が[01-1]方向又はそれと結晶学的に等価な方向に伸びていることが好ましい。その場合リッジ側面の大部分が(311)A面となることが多く、リッジを形成する第2導電型第2クラッド層上の成長可能な実質的全面にコンタクト層を成長させることができる。この傾向は第2導電型第2クラッド層がAlGaAs特にAlAs湿晶比0.2~1.0、好ましくは0.3~0.9、最も好ましくは0.4~0.8のときに特に顕著である。オフアングルの方向は、ストライプ状開口部の長手方向に直交する方向から、 $\pm 30^\circ$ 以内の方向が好ましく、 $\pm 7^\circ$ 以内の方向がより好ましく、 $\pm 2^\circ$ 以内の方向が最も好ましい。また、ストライプ状開口部の長手方向は、基板の面方位が(100)の場合、[0-11]またはそれと等価な方向が、オフアングルの方向は[011]方向またはそれと等価な方向から $\pm 30^\circ$ 以内の方向が好ましく、 $\pm 7^\circ$ 以内の方向がより好ましく、 $\pm 2^\circ$ 以内の方向が最も好ましい。なお、本明細書において「[01-1]方向」という場合は、一般的なIII-V族、II-VI族半導体において、(100)面と[01-1]面との間に存在する[11-1]面が、それぞれV族又はVI族元素が現れる面であるように[01-1]方向を定義する。

【0023】本発明の半導体光デバイス装置は、上記のストライプ状開口部が[01-1]方向の線様に限定されない。以下に他の実施態様を説明する。ストライプ状開口部が[011]方向又はそれと結晶学的に等価な方

(6)

特開2000-312052

10

向に伸びている場合、例えば、成長条件により、成長速度に異方性をもたせることができ、(100)面では速く、(111)B面ではほとんど成長しないようにすることができる。その場合、ストライプ状開口部(100)面に選択的に成長を行うと、(111)B面を側面とするリッジ状第2導電型第2クラッド層が形成される。この場合も次にコンタクト層を形成する際、より等方性の強い成長が起こる条件を選ぶことにより、(100)面のリッジ頂部とともに(111)B面からなるリッジ頂部および側面にも全面的にコンタクト層が形成される。

【0024】同様の理由により、ウルツァイト型の基板を用いた場合には、ストライプ状開口部の長手方向は、例えば(0001)面上では[11-20]又は[1-100]が好ましい。HVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy)ではどちらの方向でもよいが、MOCVDでは[11-20]方向がより好ましい。

【0025】本発明の半導体光デバイス装置を設計するにあたっては、まず、所望の垂直広がり角を得るために活性層の厚みとクラッド層の組成を決定する。垂直広がり角を狭くすると活性層からクラッド層への光の浸みだしが促進され、端面での光密度が小さくなり、出射端面の光学的損傷(COD)レベルを向上させることができる。したがって、高出力動作を必要とするときには垂直広がり角を比較的狭めに設定するが、下限は活性層内の光閉じ込めの低減による発振しきい値電流の増大及びキャリアのオーバーフローによる温度特性の低下を抑制することで制限がある。下限は $15^\circ$ 以上が好ましく、 $17^\circ$ 以上がより好ましく、 $19^\circ$ 以上が最も好ましい。上限は $30^\circ$ 以下が好ましく、 $27^\circ$ 以下がより好ましく、 $25^\circ$ 以下が最も好ましい。

【0026】次に、垂直広がり角を決定すると、高出力特性を大きく支配する構造パラメータは活性層と保護膜との間の距離 $d_p$ と、化合物半導体層に垂直な方向から見たときのストライプ状開口部の幅(以下「ストライプ幅」ともいう)Wとなる。なお、通常、活性層と保護膜との間には第2導電型第1クラッド層のみが介在するが、その場合 $d_p$ は第2導電型第1クラッド層の厚みとなる。また、活性層が量子井戸構造である場合は、最も保護膜に近い活性層と保護膜との間の距離のが $d_p$ となる。高出力動作の達成や、高信頼性を維持しつつビームが円形に近いレーザを実現を図るためには、上記の $d_p$ とWを適切な範囲に制御性良くおさめることが必要となる。

【0027】高出力動作を実現するには、ストライプ幅を広くすることが端面での光密度低減の観点から有効であるが、動作電流を低減するためにはストライプ幅を狭くすることが、導波ロス低減の観点から好ましい。そこで、ゲイン領域となる中央付近のストライプ幅を比較的狭くし、端部付近を比較的広くなるようにすることに



(7)

特開2000-312052

11

12

より、低動作電流と高出力動作を同時に実現することができ、高い信頼性も確保することができる（本発明の第1の態様）。すなわち、端部（劈開面）幅（ $W_t$ 、 $W_r$ ）については、上限が $1000\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $500\mu\text{m}$ 以下であるのがより好ましい。下限は $2\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $3\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。中央部幅（ $W_c$ ）については、上限が $100\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $50\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。下限は $0.5\mu\text{m}$ 以上が通常用いられ、 $1.0\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $1.5\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましく、 $2.2\mu\text{m}$ 以上であることが最も好ましい。端部幅と中央部幅の差（ $W_t - W_c$ 、 $W_r - W_c$ ）については、上限は $1000\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $500\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。下限については、 $0.2\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。ストライプ状開口部の端部幅と中央部幅の比（ $W_t/W_c$ 、 $W_r/W_c$ ）は、上限は50以下であることが好ましく、10以下であることがより好ましい。下限については1.2以上であることが好ましく、1.5以上であることがより好ましい。

【0028】さらに横モードをシングルモード（単一ピークの横方向光強度分布）にするためには、高次モードのカットオフ及び空間的ホールバーニングの防止の観点からストライプ幅をあまり大きくすることができず、端部幅（ $W_t$ 、 $W_r$ ）の上限は $7\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $6\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。中央部幅（ $W_c$ ）の上限は $6\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $5\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。このとき、中央部幅（ $W_c$ ）については $1.5\sim 4.0\mu\text{m}$ の範囲が特に推奨される。端部幅と中央部幅の差（ $W_t - W_c$ 、 $W_r - W_c$ ）については、上限は $5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $3\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $2\mu\text{m}$ 以下であることが最も好ましい。下限については、 $0.2\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。

【0029】ストライプ状開口部は、中央部から端部へ向かってストライプ幅が漸増している部分を有するのが好ましい。また、端部ではストライプ幅が一定の部分有しているのが好ましい。これらの漸増部分と幅一定の端部の長さは、半導体光デバイス装置の目的とする特性に応じて適宜決定すればよい。漸増部分の長さは、導波路損失低減の観点から $5\sim 10\mu\text{m}$ が好ましく、 $10\sim 50\mu\text{m}$ がより好ましい。幅一定の端部の長さは、劈開精度の観点から $5\sim 30\mu\text{m}$ が好ましく、 $10\sim 20\mu\text{m}$ がより好ましい。ただし、必要に応じて、以下のようにストライプ状開口部を作製してもよい。

（1）幅一定の端部や漸増部分のストライプ幅あるいは長さがチップ両側で非対称となるもの。

（2）幅一定の端部を形成せずに、端部まで幅が漸増す

るようにしたもの。

（3）片側（通常は高出力光取り出し側である前端面）の端部だけストライプ幅が漸増するようにしたもの。

（4）端部におけるストライプ幅が前端面と後端面とで異なるもの。

（5）上記の（1）～（4）のいくつかを組み合わせたもの。

【0030】また、端面付近に電極を設けないようにして、端部での再結合電流を低減することが、高い信頼性で高出力動作を可能にする点で有効である。

【0031】通常、半導体層をエッチング（特にウェットエッチング）でストライプ幅を決定するときは、特定の面が選択的に出やすくなるために、ストライプ幅を漸増せようとするストライプエッジが揺らいでしまうためにストライプのエッジが階段状に変化してしまい、この階段状のエッジのうねりが水平方向の遠視野像にリップルや大きなサイドピークなどの乱れが発生しやすくなる。一方、本発明の好ましい実施態様では、ストライプ幅漸増部分はSiNxアモルファス膜のエッチングで形成されるために、直線的にストライプ幅を増加させることができることから、リップルやサイドピークのない良好な単峰性のピークを容易に得ることができる。

【0032】本発明は、ストライプ状開口部の幅が前部、中央部、後端部の順に狭くなる態様（本発明の第2の態様）を包含する。ストライプ状開口部の前端部の幅と後端部の幅の差（ $W_t - W_r$ ）は、上限は $100\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $50\mu\text{m}$ であることがより好ましい。下限は $0.5\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。ストライプ状開口部をテーパ形状にすることによって、利得飽和のレベルを向上し、ワット級の高出力素子の作製が可能になる。ストライプ状開口部の前端部の幅と後端部の幅の比（ $W_t/W_r$ ）は、上限は50以下であることが好ましく、10以下であることがより好ましい。下限については1.2以上であることが好ましく、1.5以上であることがより好ましい。

【0033】さらに横モードをシングルモード（単一ピークの横方向光強度分布）にするためには、高次モードのカットオフ及び空間的ホールバーニングの防止の観点からストライプ幅をあまり大きくすることができず、端部幅（ $W_t$ 、 $W_r$ ）の上限は $7\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $6\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。中央部幅（ $W_c$ ）の上限は $6\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $5\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。このとき、中央部幅（ $W_c$ ）については $1.5\sim 4.0\mu\text{m}$ の範囲が特に推奨される。端部幅と中央部幅の差（ $W_t - W_c$ 、 $W_r - W_c$ ）については、上限は $5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $3\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $2\mu\text{m}$ 以下であることが最も好ましい。下限については、 $0.2\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $0.5\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。

13

【0034】ストライプ状開口部がテーパー状であるリッジ構造の形成方法として、従来から用いられているウェットエッチングを採用すると、エッチングレートの結晶面方位依存によるリッジ両端でのエッジの波打ちが大きくなり、光導波ロスが大きくなったり、遠視野像に乱れが生じるといった問題がある。特に、ストライプ幅が狭い領域においては深刻な問題となる。このため本発明では、アモルファス膜（誘電体保護膜）をフォトリソグラフィでパターンニングして電流ブロック領域を作製し、リッジ部がアモルファス膜（誘電体保護膜）にのりかかるように選択成長により形成することが好ましい。この方法によれば、任意の活性領域パターンの形状制御が可能となり、例えば直線のみならず放物線状のテーパー形成も容易に行うことができる。さらに、ストライプ幅が狭くてもアモルファス膜の開口部エッジに大きな波打が生じないことから、光導波ロスの顕著な増加は起こらない。

【0035】本発明の半導体光デバイス装置における共振器方向でのストライプ状開口部の幅の変化を図3に具体的に示す。図3(a)は本発明の第1の態様の具体例を示したものであり、図3(b)は本発明の第2の態様の具体例を示したものであるが、各態様の具体例はこれらに限定されるものではない。

【0036】 $d_p$ については、上限は $0.60\mu\text{m}$ 以下が通常用いられ、 $0.50\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $0.45\mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $0.40\mu\text{m}$ 以下が最も好ましい。下限は $0.10\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $0.15\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、 $0.20\mu\text{m}$ 以上が最も好ましい。このとき、 $d_p$ については $0.25\sim 0.45\mu\text{m}$ の範囲が特に推奨される。ただし、使用目的（広がり角をどこに設定するか等）、材料系（屈折率、抵抗率等）などが異なると、上記の最適範囲も少しシフトする。また、この最適範囲は上記の各構造パラメータが互いに影響し合うことにも注意を要する。

【0037】本発明の半導体光デバイス装置を製造する際には、基板上に、まずダブルヘテロ構造を形成後、保護膜を用いてリッジ型の第2導電型第2クラッド層及び第2導電型コンタクト層を選択成長し、さらに、該リッジ頂部および側面に保護膜を形成することなく該リッジの頂部および側面に電極を形成するのが好ましい。各層の具体的な成長条件等は、層の組成、成長方法、装置の形状等に応じて異なるが、MOCVD法を用いてIII-V族化合物半導体層を成長する場合、ダブルヘテロ構造は、成長温度 $650\sim 750^\circ\text{C}$ 程度、 $V/\text{III}$ 比 $20\sim 60$ 程度（ $\text{AlGaAs}$ の場合）あるいは $350\sim 550$ 程度（ $\text{AlGaInP}$ の場合）、リッジ部分は成長温度 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 、 $V/\text{III}$ 比 $40\sim 60$ 程度（ $\text{AlGaAs}$ の場合）あるいは $350\sim 550$ 程度（ $\text{AlGaInP}$ の場合）で行うのが好ましい。特に保護膜を用いて選択成長するリッジ部分が $\text{AlGaAs}$ 、 $\text{AlGaInP}$ の

(8)

特開2000-312052

14

ようにAlを含む場合、成長中に微量のHClガスを導入することにより、マスク上へのポリの堆積が防止されたため非常に好ましい。Alの組成が高いほど、あるいはマスク部/ストライプ状開口部の比が大きいほど、他の成長条件を一定とした場合、ポリの堆積を防止し、かつストライプ状開口部のみに選択成長を行う（セレクトティブモード）のに必要なHCl導入量は増加する。一方、HClガスの導入量が多すぎると $\text{AlGaAs}$ 層の成長が起こらず、逆に半導体層がエッチングされてしまうが（エッチングモード）が、Al組成が高くなるほど他の成長条件を一定とした場合、エッチングモードになるのに必要なHCl導入量は増加する。そこで、最適なHCl導入量はトリメチルアルミニウム等のAlを含んだIII族原料供給モル数に大きく依存する。具体的には、HClの供給モル数とAlを含んだIII族原料供給モル数の比（ $\text{HCl}/\text{III}$ 族）は、下限は $0.01$ 以上が好ましく、 $0.05$ 以上がより好ましく、 $0.1$ 以上が最も好ましい。上限は、 $50$ 以下が好ましく、 $10$ 以下がより好ましく、 $5$ 以下が最も好ましい。

【0038】なお、第2導電型第2クラッド層がAl(Ga)As、Al(Ga)AsP、Al(GaIn)As、Al(GaIn)P、Al(GaIn)N等Alを含むIII-V族化合物半導体で構成されている場合は、その成長可能な実質の全面をGaAs、GaAsP、GaInAs、GaInP、GaInN等のAlを含まないIII-V族化合物半導体で覆うことにより、表面酸化防止が可能となり好ましい。

【0039】本発明の好ましい半導体光デバイス装置においては、基板上に、活性層を含む化合物半導体層、その上に形成されたストライプ状開口部を有する保護膜、該ストライプ状開口部上に活性層より屈折率の小さいリッジ型の化合物半導体層、実質のリッジ形状の全面に形成されたコンタクト層を少なくとも有し、該ストライプ状開口部の幅を $2.2\mu\text{m}$ 以上 $1000\mu\text{m}$ 以下にすることによって、高出力動作を実現することができ、さらにコンタクト層に隣接する電極及び該第2導電型第2クラッド層とコンタクト層に十分な接触面積を持たせることにより装置全体の抵抗を低く抑えることができる。コンタクト層が形成されたリッジの頂部および側面の一部は、更に酸化防止等の目的で保護膜で覆うことも可能である。この態様も、リッジ側面にコンタクト層を形成せずに保護膜を形成するよりは装置全体の抵抗を小さく抑えることができ、本発明に包含される。特に、 $\text{AlGaInP}$ 系や $\text{AlGaInN}$ 系など比抵抗の高い材料（とりわけp型において）において、装置全体の抵抗低減には有効である。

【0040】本発明の別の好ましい実施態様では、ストライプ状開口部の上に活性層より屈折率の小さいリッジ型の化合物半導体層の一部が保護膜上に重なるように形成されていることを特徴とし、第2導電型第2クラッド



(9)

特開2000-312052

15

層の絶縁層上への重なり部分は下限は0.01  $\mu\text{m}$ が好ましく、0.1  $\mu\text{m}$ 以上がより好ましく、上限は2.0  $\mu\text{m}$ 未満が好ましく、1.0  $\mu\text{m}$ 以下がより好ましい。このような態様を採用することにより、保護膜とリッジ底部との境界近傍にしみ出す光分布の制御性を向上させ、リッジ頂部および側面に形成されるコンタクト層の光吸収を低減することができる。この態様を採用すれば、従来のリッジ導波型レーザのように必ずしもリッジの側面に保護膜を形成する必要がなくなり、プロセスの簡素化とコスト低減に有効である。リッジ側面に絶縁体からなる保護膜を有しない構造は、リッジ部分が横方向に成長しているためストライプ幅漸減または漸増部分のリッジのうねりの影響を受けにくくなっている。したがって、このような構造を有する半導体光デバイス装置は、水平方向の遠視野像において、リップルやサイドピークのない良好な単峰性のピークが容易に得られる。

【0041】本発明の別の好ましい実施態様では、ストライプ状開口部の幅が4  $\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とし、該特徴により横モードをシングルモード（単一ピークの横方向光強度分布）にすることを可能にする。また、本発明の半導体光デバイス装置は遠視野像が単一ピークであるように構成することが可能であり、情報処理や光通信などの幅広い用途に好適なレーザを供することができる。

【0042】また、本発明の半導体光デバイス装置では、活性層と保護膜との間にクラッド層を形成し、該クラッド層の厚みを0.10  $\mu\text{m}$ 以上0.50  $\mu\text{m}$ 以下にすることによって、ストライプ状開口部の幅において高出力動作を実現し易くすることができる。さらに、本発明の半導体光デバイス装置では、保護膜をSiN<sub>2</sub>膜、SiO<sub>2</sub>膜、SiON膜、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜、ZnO膜及びSiC膜等の誘電体から構成することにより、上記条件において高出力動作を実現しやすくなることができ、このとき、保護膜と第2導電型第1クラッド層との発振波長における屈折率差が0.5以上2.0以下とすることが好ましい。

【0043】また、第2導電型第2クラッド層の高さ（厚さ）は、前述のストライプ状開口部の幅Wの0.25倍から2.0倍程度であるのが好ましい。この範囲であれば、周囲（後述する電流ブロック層やリッジダミー領域）に比して著しく突出することがなく、ジャンクションダウンで用いた場合にリッジ部にストレスがかかって寿命に悪影響を与えることもなく、また、逆に周囲に比して著しく低いために電極形成工程等の後工程が行い難くなることもないため好ましい。

【0044】本発明の半導体光デバイス装置では、DH構造のエピタキシャル面側に酸化防止層を設けた状態で、リッジ形状のクラッドを再成長により形成することにより、再成長界面で通過抵抗を増大させるような高抵抗層の発生を防ぐことが容易にできるようになる。

16

【0045】酸化防止層としては、酸化されにくい或いは酸化されてもクリーニングが容易な材料であれば特に限定されない。具体的には、Al等の酸化されやすい元素を含まない元素の含有率が低い（0.3以下程度）III-V族化合物半導体層が挙げられる。また、動作電流の上昇を防ぐためには、材料または厚みの選択により活性層からの光を吸収しないことが好ましく、活性層材料よりバンドギャップの大きい材料から選択されるが、バンドギャップが小さい材料であっても、厚さが50 nm以下、より好ましくは30 nm以下、最も好ましくは10 nm以下であれば、実質的に光の吸収がほとんど無視できる。また、酸化防止層のバンドギャップを活性層と同等以下とすることにより、酸化防止層を過飽和吸収層として機能させることができ、低非点隔差と低ノイズ特性の両立を図ることができる。

【0046】さらには、再成長部のクラッド層を絶縁体からなる保護膜の上面にかかるように成長し、保護膜とリッジの近傍にしみ出す光の分布の制御性を良くしたり、再成長部のクラッド層上の成長可能な面の実質的全面にコンタクト層を成長させ、クラッド層側面の酸化を抑制したり、エピタキシャル面側の電極との接触面積の増加を行い、電極とのコンタクト抵抗を低減したりすることもできる。これら再成長部のクラッド層やコンタクト層を保護膜上部にかかるように成長する工程は、それぞれ単独に行っても良いし、両方を組み合わせても良い。さらに、再成長でリッジを形成する場合にはリッジ部の組成、キャリア濃度や成長速度の制御性を向上するために電流注入されるリッジ部より大面積となる電流注入を行わないリッジダミー層を設けることも可能である。この際、リッジダミー層の部分には、電流の通過を防止するために酸化膜等との絶縁性の被膜層やサイリスタ構造等を作製する。また、オフ基板上に電流注入ストライプをオフ方向となるべく垂直な方向に形成させた場合、再成長のリッジは左右非対称となるが、図6に示すような従来の半導体からなるブロック層よりも、保護膜とリッジ部のクラッド層との屈折率差を容易に大きくすることができたり、ストライプ状開口部の方向を適切に選ぶことにより再成長部のクラッド層が保護膜の上面にかかるように成長させることができるので、保護膜とリッジ近傍にしみ出す光の分布の対称性は良好であり、高出力まで安定な基本横モード発振を得ることができる。このように、本発明は様々なリッジストライプ型導波路構造半導体光デバイス装置に応用可能である。

【0047】本発明の好ましい実施態様では、第2導電型第1クラッド層の屈折率が第2導電型第2クラッド層の屈折率よりも大きい。これにより、リッジ部分への光分布（近視野像）の裾引きを抑制することができ、垂直広がり角（遠視野像）の対象性向上、水平広がり角（遠視野像）のサイドピーク抑制、或いはコンタクト層での光吸収抑制によるレーザ特性や信頼性の向上を達成する

17

ことができる。

【0048】本発明の望ましい別の実施形態では、第2導電型第1クラッド層上の少なくともストライプ状開口部直下、即ち、ストライプ状開口部及び好ましくはその両側にも酸化防止層を有する。これによりリッジ部のクラッド層を再成長により形成する場合、再成長界面で通過抵抗を増大させるような高抵抗層の発生を防ぐことが可能になる。また、再成長界面に酸素等の不純物が多量に存在すると、結晶品質を低下による界面での光吸収

(発熱)や欠陥を介した不純物拡散の促進などを引き起こし、特性や信頼性の劣化を招いてしまう。

【0049】また、AlGaInP/GaInP系可視レーザのように、短波長化のために(100)等の低次の面方位に対してオフ角度の大きい基板を用いた場合には、上記リッジ導波型レーザにおけるリッジ形状が左右対称な形状でも、光密度分布(あるいはビームプロファイル)の横方向の対称性が良好であるため、高出力まで安定な基本横モードで発振することが可能であり、かつ素子の作製歩留まりも大幅に向上させるとともに高い信頼性を得ることもできる。

【0050】上記以外に、以下に列挙する様な実施態様と組み合わせることが可能である等、本発明は様々なリッジ導波型半導体光デバイス装置に適用可能である。

(1) ストライプ状開口部の両側を構成する保護膜の更に外側に半導体、誘電体等の電流ブロック層を形成することにより、劈開、組立時の歩留まりを向上させ、ジャンクションダウンで組み立てた際のリッジ部へのストレスを軽減して長寿命とする。

(2) ストライプ状開口部の幅及び活性層と保護膜との距離を適切な範囲内に設定すること、光の垂直広がり角が特定範囲となる様な構成とすること等により、自動発振を可能とする。

(3) ストライプ状開口部の両側を構成する保護膜の更に外側にリッジダミー領域を有する構造を形成することにより、ストライプ状開口部の厚みや組成、キャリア濃度の制御を容易に行う。

【0051】本発明の半導体光デバイス装置は、従来のような複雑かつ微細なフォトリソグラフィ技術を用いずに簡素化した工程で製造することができるため、作製歩留まりも大幅に向上させることができるという利点もある。

【0052】本発明を用いた半導体レーザ装置として、情報処理用光源(通常AlGaAs系(波長780nm近傍)、AlGaInP系(波長600nm帯)、InGaIn系(波長400nm近傍))について述べたが、本発明はこれ以外にも、通信用信号光源(通常InGaAsPあるいはInGaAsを活性層とする1.3μm帯、1.5μm帯)レーザ、ファイバー励起用光源(InGaAs歪み量子井戸活性層/GaAs基板を用いる980nm近傍、InGaAsP歪み量子井戸活性層/I

(10)

特開2000-312052

18

nP基板を用いる1480nm近傍など)レーザなどの通信用半導体レーザ装置など幅広い用途(特に、高出力動作)に適用することができる。通信用レーザでは、特にビームが円形に近いレーザはファイバとの結合効率を高める点で有効である。

【0053】また、本発明の半導体光デバイス装置は、半導体レーザ以外に半導体光増幅器、光検出器、光変調器、光スイッチなどの光素子およびこれらの集積装置についても応用が可能である。半導体光増幅器については、特にストライプ状開口部の幅がテーパー状であるもの、なかでも前端部から後端部へ向かってストライプ幅が減少している構造を有するものを好ましく用いることができる。本発明による半導体光増幅器は、利得飽和のレベルが向上しており、ワット級の高出力素子の作製を可能にするものである。さらに、本発明は半導体レーザ以外に端面発光型などの発光ダイオード(LED)としても応用可能である。

【0054】

【実施例】以下に実施例および比較例を挙げて本発明をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、濃度、厚さ、操作手順等は、本発明の精神から逸脱しない限り適宜変更することができる。したがって、本発明の範囲は以下の実施例に示す具体例に制限されるものではない。

【0055】(実施例1)本実施例において、図1

(c)に示す断面構造を有する本発明の半導体光デバイス装置を製造した。厚さ350μmで表面が(100)面であるn型GaAs( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )基板101上に、MOCVD法によりSiドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.55$ ;  $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )からなる厚さ2.0μmのn型クラッド層102;アンドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.35$ )からなる厚さ10nmの光ガイド層103、アンドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.10$ )からなる厚さ8nmの井戸層104、アンドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.35$ )からなる厚さ5nmのバリア層105、アンドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.10$ )からなる厚さ8nmの井戸層104、及びアンドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.35$ )からなる厚さ10nmの光ガイド層103を順次積層してなる二重量子井戸(DQW)活性層106;ZnドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.55$ ;  $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )からなる厚さ0.30μmのp型第1クラッド層107;ZnドープAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As( $x=0.2$ ;  $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )からなる厚さ10nmの酸化防止層108を順次積層することにより、ダブルヘテロ構造を形成した(図1(a))。次にこのダブルヘテロ基板の表面にSiN<sub>x</sub>保護膜109を200nm堆積させ、フォトリソグラフィによりこのSiN<sub>x</sub>保護膜に[01-1]方向に伸びたストライプ状開口部110を多数開けた。ストライプ状開口部の幅は、図3に示すように

(11)

特開2000-312052

19

20

レーザチップ作製時に中央部での幅(W2)を3 $\mu$ mで一定とし、端部付近でストライプ幅が漸増し、端部(劈開面)での幅(W1)を4 $\mu$ mで一定となるようにパターンニングした。このとき、中央部の長さは400 $\mu$ m、漸増部分の長さは両側とも30 $\mu$ m、幅一定の端部の長さは両側とも20 $\mu$ mとした。

【0056】このストライプ状開口部110に、MOCVD法を用いた選択成長により、ZnドープAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>As(x=0.60:p=1 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>)からなるリッジ中央で高さ2.0 $\mu$ mのp型第2クラッド層111を成長した。このp型第2クラッド層は、主に(311)A面をファセットとするリッジ形状を呈した。次に、この上に、MOCVD法を用いた選択成長により、キャリア濃度1 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>のZnドープGaAsからなるp型コンタクト層112を形成した。このコンタクト層は、リッジ状のp型第2クラッド層111上にほぼ等方的に成長させ、リッジ全面を覆う厚さ0.5 $\mu$ mのp型コンタクト層112とした(図1(b))。

【0057】上記のMOCVD法において、III族原料にはトリメチルガリウム(TMG)及びトリメチルアルミニウム(TMA)を、V族原料にはアルシンを、キャリアガスには水素を用いた。また、p型ドーパントにはジメチル亜鉛(DEZ)、n型ドーパントにはジシランを用いた。また、リッジの成長時にはHClガスをHCl/III族のモル比が0.12、特にHCl/TMAのモル比が0.22となるように導入した。

【0058】また、SEM観察によりリッジ状のp型第2クラッド層は、図1に示すようにSiN<sub>x</sub>からなる保護膜上に約0.4 $\mu$ m重なって形成されていることが確認された。ストライプ幅漸増部分でリッジ側壁のうねりが少し大きくなったが、この部分でも保護膜上に約0.4 $\mu$ m重なって形成されていることが確認された。また、すべてのストライプ幅において、コンタクト層はリッジ側壁全面を覆っていた。これにより、リッジ状のp型第2クラッド層が表面に露出し、表面酸化が進行することを防止することができた。リッジ成長後に、従来法のようにリッジ側壁の一部或いは全面をSiN<sub>x</sub>保護膜で覆っても特に問題はないが、本実施例においては、プロセスの簡素化、コンタクト抵抗の低減等を考慮してリッジ側面に誘電体等からなる保護膜は形成しなかった。

【0059】この後、p側電極113を蒸着し、基板を100 $\mu$ mまで薄くした後に、n側電極114を蒸着し、アロイした(図1-(c))。こうして作製したウェハーより、劈開によりチップバーに切り出して、レーザ共振器構造を形成した。このときの共振器長は500 $\mu$ mとした。前端面10%-後端面90%の非対称コーティングを施した後、2次劈開によりチップに分離した。

【0060】チップジャンクションダウンで組立した後、25℃で連続通電(CW)にて電流-光出力、電流

電圧特性を測定した。非常に良好な電流-電圧特性及び電流-出力特性を示し、しきい値も1.7Vと活性層のバンドギャップに対応する低い値で、高抵抗層が存在しないことが確認できた。また、直列抵抗が4~5 $\Omega$ と小さく、p型コンタクト層とp型電極の間の接触抵抗が極めて小さいことが確認された。本実施例のレーザは、光出力250mW動作までの高出力を達成できており、発振波長が平均785nm、しきい値電流が平均15mA、スロープ効率が平均1.2mW/mAである等特性が非常に良好であり、光出力100mW時の垂直広がり角は平均20°であり、設計通りの単一ピークの遠視野像(ビーム広がり角)が得られ、光分布の制御が非常に良好であることが確認された。水平広がり角は平均9°であった。また、水平方向の遠視野像においても、リップルやサイドピークのない良好な単峰性のピークが得られた。このことは、ストライプ幅を直線的に増加させていることのみならず、リッジ部分が横方向に成長していることからストライプ漸増部分のリッジのうねりの影響を受けにくくなっていることも要因と考えられる。なお、本願明細書において「単一ピーク」とは、必ずしも1本のピークの存在しか許さない意味ではなく、最大ピークの1/10以上の強度を有する他のピークが存在しないことを意味する。これらの結果から、本発明のレーザ構造において、CD-R、MD等の光ディスクの書き込み用光源などに利用されることがわかる。また、高い信頼性(60℃、100mWの高温、高出力における1000時間以上安定動作)が得られることが判明した。さらに、本実施例では諸特性のパッチ内及びパッチ間のばらつきも小さいことが確認された。

【0061】また、上記の実施例よりもストライプ幅を広くしていったところ、中央部における幅が5 $\mu$ m以上になると、ほとんどの素子が単一横モード(単一ピークの横方向光強度分布)で発振しなくなってしまうこともわかった。このことから、単一横モード発振を実現させるためには、中央部におけるストライプ幅が5 $\mu$ m以下であることが望ましい。さらに、実験結果から高出力動作ができる領域をシミュレーションにて確認した結果、活性層内部での横方向有効屈折率段差は5 $\times 10^{-3}$ ~1.3 $\times 10^{-2}$ 程度に設定する必要があることが判った。

【0062】(実施例2)本実施例において、図2(c)に示す断面構造を有する本発明の半導体光デバイス装置を製造した。まず、最初に(100)面から[0-1-1]<sub>A</sub>方向に10°あるいは15°程度オフさせた厚さ350 $\mu$ mのGaAs基板201の上に、MOCVD法により厚さ0.5 $\mu$ mのSiドープn型GaAsバッファ層(n=1 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>) (図示せず)、厚さ1.5 $\mu$ mのSiドープAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>As(n=1 $\times 10^{18}$ cm<sup>-3</sup>)からなるn型第1クラッド層202、厚さ0.2 $\mu$ mのSiドープn型(A<sub>0.15</sub>G

(12)

特開2000-312052

21

$\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  ( $n=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) からなる n 型第 2 クラッド層 203、厚さ 50 nm のアンドープ ( $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ) からなる光ガイド層 204 あるいは厚さ 5 nm のアンドープ ( $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ) バリア層 206 に挟まれた厚さ 5~6 nm のアンドープ  $\text{Ga}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{P}$  井戸層 205 (3 層) からなる三重量子井戸 (TQW) 活性層 207、厚さ 0.25  $\mu\text{m}$  の  $\text{Zn}$  ドープ ( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ) からなる p 型第 1 クラッド層 ( $p=7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) 208、厚さ 5 nm の  $\text{Zn}$  ドープ p 型  $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  酸化防止層 ( $p=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 209 を順次積層することにより、ダブルヘテロ構造を形成した (図 2 (a))。このとき、酸化防止層は活性層で再結合した光を吸収しないように組成を選択する方がしきい値電流を低減する上では好ましいが、セルフパルセーションさせるために意図的に光を吸収させて過飽和吸収層として利用することも可能である。なお、光を吸収させないようにするために、上記  $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  酸化防止層の組成を  $\text{Ga}$  リッチ側 ( $x=0.5 \sim 1$ ) に変えたり、 $\text{Al}$  を若干量加える ( $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ,  $x=0.1 \sim 0.2$  程度) ことがさらに有効である。

【0063】次にこのダブルヘテロ基板の表面に絶縁性の  $\text{SiN}_x$  保護膜 (屈折率 1.9、波長 650 nm 近傍) 210 を 200 nm 堆積させ、フォトリソグラフィ法によりこの  $\text{SiN}_x$  膜 210 にオフアングルの方向と直交する [01-1] B 方向にストライプ状開口部 211 を多数開けた。ここで [01-1] B 方向は、一般的な III-V 族化合物半導体において、(100) 面と (01-1) 面の間に存在する (11-1) 面が V 族元素が現れる面であるように定義する。ストライプ状開口部の幅は、図 3 に示すようにレーザチップ作製時に中央部での幅 (W2) を 4  $\mu\text{m}$  で一定とし、端部付近でストライプ幅が漸増し、端部 (劈開面) での幅 (W1) を 5  $\mu\text{m}$  で一定となるようにパターンニングした。このとき、中央部の長さは 300  $\mu\text{m}$ 、漸増部分の長さは両側とも 30  $\mu\text{m}$ 、幅一定の端部の長さは両側とも 20  $\mu\text{m}$  とした。

【0064】このストライプ状開口部 211 に、MOCVD 法を用いた選択成長により、リッジ中央で高さ 2.0  $\mu\text{m}$  の  $\text{Zn}$  ドープ p 型  $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$  クラッド層 ( $p=1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ; 屈折率 3.3、波長 655 nm) 212 と厚さ 0.5  $\mu\text{m}$  の  $\text{Zn}$  ドープ  $\text{GaAs}$  コンタクト層 213 からなるリッジを形成した (図 2 (b))。このとき、リッジの側面の大部分が (311) A 面もしくはこれに近い面となることが多く、再成長部のクラッド層を絶縁体からなる保護膜の上面にかかるように成長し、再成長部のクラッド層上の成長可能な面の実質的全面にコンタクト層を成長させることができる。そのため、保護膜とリッジの近傍にしみ出す光の分布の制御性を良くしたり、クラッド層側面の酸化を抑制したり、エピタキシャル面側の電極との接触面積の増加

22

を行い、電極とのコンタクト抵抗を低減したりすることもできる。この傾向は再成長リッジ部が  $\text{AlGaAs}$ 、特に  $\text{AlAs}$  混晶比 ( $\text{Al}$  組成) 0.2~0.9、好ましくは 0.3~0.8 の時に顕著である。

【0065】上記の MOCVD 法において、III 族原料にはトリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA) 及びトリメチルインジウム (TMI) を、V 族原料にはアルシン及びホスフィン、キャリアガスには水素を用いた。また、p 型ドーパントにはジメチル亜鉛、n 型ドーパントにはジシランを用いた。また、リッジの成長時には  $\text{HCl}$  ガスを  $\text{HCl}$ /III 族のモル比が 0.2、特に  $\text{HCl}$ /TMA のモル比が 0.3 とするように入力した。

【0066】また、SEM 観察によりリッジ状の p 型第 2 クラッド層は、図 2 に示すように  $\text{SiN}_x$  からなる保護膜上に約 0.4  $\mu\text{m}$  重なり形成されていることが確認された。また、すべてのストライプ幅において、コンタクト層はリッジ側壁全面を覆っていた。これにより、リッジ状の p 型第 2 クラッド層が表面に露出し、表面酸化が進行することを防止することができた。リッジ成長後に、従来法のようにリッジ側壁の一部或いは全面を  $\text{SiN}_x$  保護膜で覆っても特に問題はないが、本実施例においては、プロセスの簡素化、コンタクト抵抗の低減等を考慮してリッジ側面に誘電体等からなる保護膜は形成しなかった。基板のオフ角度の影響により、リッジ形状が若干左右非対称となった (図示せず)。

【0067】この後、p 側の電極 214 を蒸着し、基板を 100  $\mu\text{m}$  まで薄くした後に、n 側電極 215 を蒸着し、アロイした (図 2 (c))。こうして作製したウェハより、劈開によりチップバーに切り出して、レーザ共振器構造を形成した。このときの共振器長は 500  $\mu\text{m}$  とした。前端面 10% 後端面 90% の非対称コーティングを施した後、2 次劈開によりチップに分離した。

【0068】チップジャンクションダウンで組立した後、25℃で連続通電 (CW) にて電流-光出力、電流-電圧特性を測定した。非常に良好な電流-電圧特性及び電流-出力特性を示し、しきい値も 1.7 V と活性層のバンドギャップに対応する低い値で、高抵抗層が存在しないことが確認できた。また、直列抵抗が 5~6  $\Omega$  と小さく、p 型コンタクト層と p 型電極の間の接触抵抗が極めて小さいことが確認された。本実施例のレーザは、光出力 150 mW 動作までの高出力を達成できており、発振波長が平均 655 nm、しきい値電流が平均 20 mA、スロープ効率が平均 1.0 mW/mA である等特性が非常に良好であり、光出力 50 mW 時の垂直広がり角は平均 2.3° であり、設計通りの単一ピークの遠視野像 (ビーム広がり角) が得られ、光分布の制御が非常に良好であることが確認された。この結果より、 $\text{SiN}_x$  保護膜で横モードが基本的に制御されていることから、再成長リッジ形状が若干非対称であることによるキンクレ

(13)

23

ベル等への悪影響は現れていないと考えられる。また、水平方向の拡がり角においても、リップルやサイドピークのない良好な単峰性のピークが得られた。これらの結果から、本発明のレーザ構造において、DVD等の光ディスクの書き込み光源などに利用されることがわかる。また、高い信頼性（60℃、50mWの高温、高出力における1000時間以上安定動作）が得られることが判明した。さらに、本実施例では諸特性のバッチ内及びバッチ間のばらつきも小さいことが確認された。

【0069】また、上記の実施例よりもストライプ幅を広くしていったところ、中央部における幅が5μm以上になると、ほとんどの素子が単一横モード（単一ピークの横方向光強度分布）で発振しなくなってしまうこともわかった。このことから、単一横モード発振を実現させるためには、中央部におけるストライプ幅が5μm以下であることが望ましい。さらに、実験結果から高出力動作ができる領域をシミュレーションにて確認した結果、活性層内部での横方向有効屈折率段差は $5 \times 10^{-3} \sim 1.3 \times 10^{-2}$ 程度に設定する必要があることが判明した。

【0070】（比較例）ストライプ状開口部の幅を中央部、端部ともに3μmで一定にしたこと以外、実施例1と同一の条件でレーザチップを作製した。チップジャンクションダウンで組立した後、25℃で連続通電（CW）にて電流－光出力を測定したが、光出力は150mW程度までしか得られなかった。このため、実施例1と同じ60℃、100mWの高温、高出力における信頼性試験では、試験した20素子すべてが通電開始後数十時間から数百時間の間で突然動作電流が急上昇し、光出力が得られなくなるという突然死に至った。劣化素子の端面を観察したところ、劣化原因は端面での光学損傷が支配的であることが判明した。

【0071】

【発明の効果】本発明にしたがってストライプ状開口部の幅を開口中央部より開口端部が大きくなるように設計すれば、低い動作電流を維持しつつ、高出力動作を実現しうるリッジ導波型ストライプレーザ等の半導体光デバイス装置を提供することができる。また本発明によれば、絶縁体からなる保護膜を用いて、電流が注入されるストライプ状開口部にリッジ型の化合物半導体層を選択成長により形成し、該リッジ側面には絶縁体からなる保護膜を有しない構造を有する半導体光デバイス装置を提供することができる。この半導体光デバイス装置では、ストライプ幅を直線的に減少することを可能にだけでなく、リッジ部分が横方向に成長しているためストライプ幅漸減部分のリッジのうねりの影響を受けにくくなっている。したがって、水平方向の遠視野像において、リップルやサイドピークのない良好な単峰性のピークが容易に得られる。

【0072】さらに本発明によれば、リッジの頂部およ

特開2000-312052

24

び側面を覆うようにコンタクト層を形成して、コンタクト層と電極との接触面積を増大させた半導体光デバイス装置を提供することもできる。このような構成を採用することにより、接触抵抗を下げるるとともに、特にA1を含むクラッド層のリッジ側面の表面酸化を防止し、レーザ特性や信頼性を向上させることができる。さらに、AlGaInP/GaInP系可視レーザのように、短波長化のために（100）等の低次の面方位に対してオフ角度の大きい基板を用いた場合には、上記リッジ導波型レーザにおけるリッジ形状が左右対称的な形状でも、光密度分布（あるいはビームプロファイル）の横方向の対称性が良好であるため、高出力まで安定な基本横モードで発振することが可能であり、かつ素子の作製歩留まりも大幅に向上させるとともに高い信頼性を得ることもできる。また、本発明の半導体光デバイス装置は、従来のような複雑かつ微細なフォトリソグラフィ技術を用いずに簡素化した工程で製造することができるため、作製歩留まりも大幅に向上させることができるという利点もある。

20 【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例1の半導体光デバイス装置の製造過程を説明する断面図である。

【図2】 実施例2の半導体光デバイス装置の製造過程を説明する断面図である。

【図3】 本発明の半導体光デバイス装置における共振器方向でのストライプ状開口部の幅の変化を説明する平面図である。

【図4】 リッジ部をエッチングにより形成してなる従来の半導体光デバイス装置の製造過程を説明する断面図である。

【図5】 リッジ上部のみにコンタクト層を形成してなる従来の半導体光デバイス装置の製造過程を説明する断面図である。

【図6】 半導体からなる電流ブロック層を用いたリッジ型あるいはグループ型のインナーストライプ構造の半導体光デバイス装置を説明する断面図である。

【符号の説明】

101： 基板

102： n型クラッド層

103： 光ガイド層

104： 井戸層

105： バリア層

106： 活性層

107： p型第1クラッド層

108： 酸化防止層

109： 保護膜

110： ストライプ状開口部

111： p型第2クラッド層

112： コンタクト層

113： p側電極



(14)

特開2000-312052

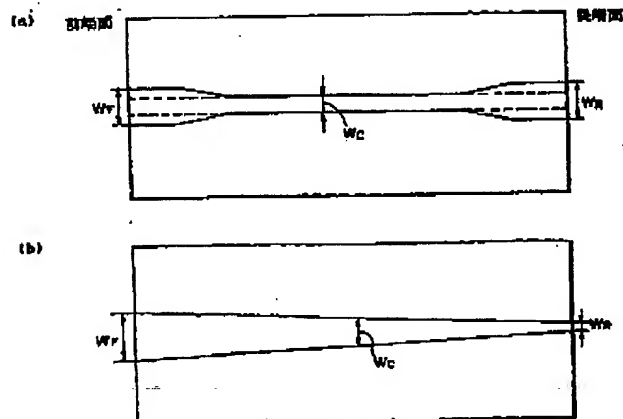
25

26

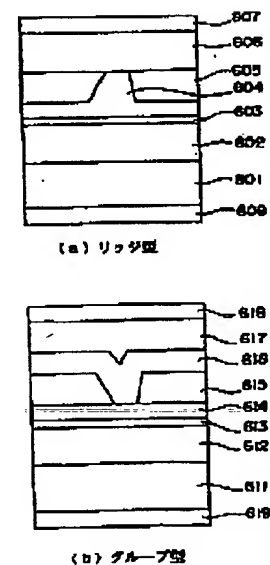
114: n側電極  
 201: 基板  
 202: n型第1クラッド層  
 203: n型第2クラッド層  
 204: 光ガイド層  
 205: 井戸層  
 206: バリア層  
 207: 活性層  
 208: p型第1クラッド層  
 209: 酸化防止層  
 210: 保護膜  
 211: ストライプ状開口部  
 212: p型第2クラッド層  
 213: コンタクト層  
 214: p側電極  
 215: n側電極  
 W<sub>r</sub>: ストライプ状開口部の開口前端部の幅  
 W<sub>c</sub>: ストライプ状開口部の開口中央部の幅  
 W<sub>a</sub>: ストライプ状開口部の開口後端部の幅  
 401: 基板  
 402: n型クラッド層  
 403: 活性層  
 404: p型クラッド層  
 405: コンタクト層  
 406: 非リッジ部  
 407: リッジ部  
 408: レジスト  
 409: 保護膜  
 410: p側電極

\* 411: n側電極  
 501: 基板  
 502: n型クラッド層  
 503: 活性層  
 504: p型第1クラッド層  
 505: 酸化防止層  
 506: 保護膜  
 507: ストライプ状開口部  
 508: p型第2クラッド層  
 10 509: コンタクト層  
 510: p側電極  
 511: n側電極  
 601: 基板  
 602: 第1導電型クラッド層  
 603: 活性層  
 604: 第2導電型クラッド層  
 605: 第1導電型電流ブロック層  
 606: 第2導電型コンタクト層  
 607: エピタキシャル側電極  
 20 608: 基板側電極  
 611: 基板  
 612: 第1導電型クラッド層  
 613: 活性層  
 614: 第2導電型第1クラッド層  
 615: 第1導電型電流ブロック層  
 616: 第2導電型第2クラッド層  
 617: 第2導電型コンタクト層  
 618: エピタキシャル側電極  
 \* 619: 基板側電極

【図3】



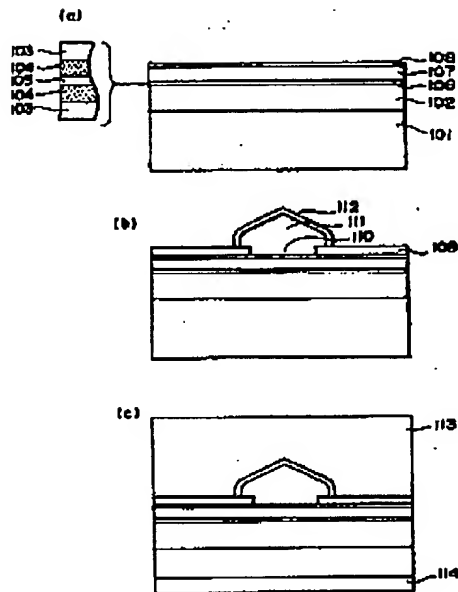
【図6】



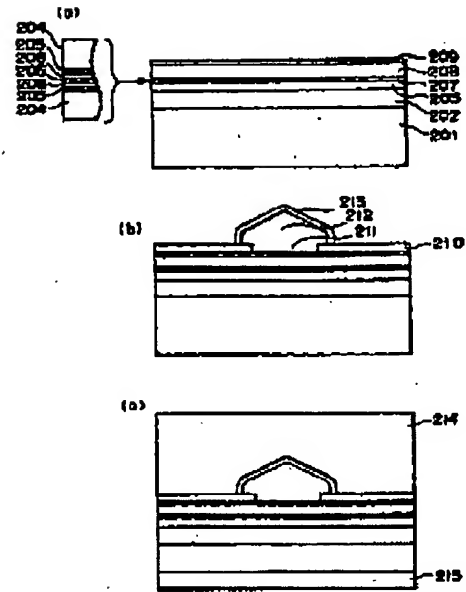
(15)

特開2000-312052

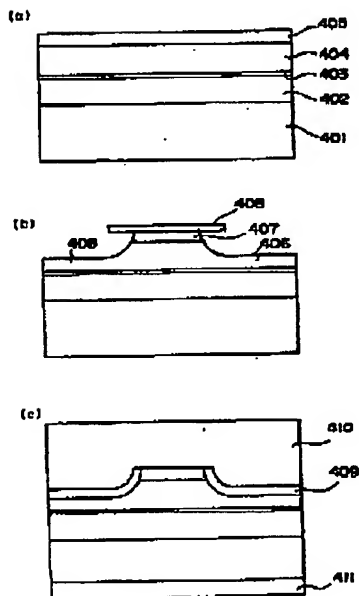
【図1】



【図2】



【図4】



【図5】

